

ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОСВЯЗИ ДВУСТОРОННЕЙ ЭЛЕКТРОДЕРМАЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ С ПОКАЗАТЕЛЯМИ СПЕКТРАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ ЭЭГ

С.Ю. Коробова, В.Г. Грязева-Добшинская, Н.А. Чипеева
Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Аннотация. Рассматриваются взаимосвязи электродермальной активности с двух сторон тела с активацией областей головного мозга и соотношение асимметрии электродермальной активности с асимметрией полушарий головного мозга у практически здоровых студентов. **Цель.** Выявить особенности взаимосвязей двусторонней электродермальной активности с показателями спектральной мощности ЭЭГ, а также сопоставить асимметрию электродермальной активности с асимметрией полушарий головного мозга. **Материалы и методы.** Выборка студентов разных профилей обучения составила 30 человек (18–25 лет), из них 18 юношей. Электродермальная активность оценивалась методом неспецифической эндодермальной реакции кожного потенциала по Тарханову с ладоней двух рук на аппаратно-программном комплексе «Активациометр АЦ-9К» Ю.А. Цагарелли. Регистрация ЭЭГ производилась с помощью 64-канального электроэнцефалографа ВР-100-2110-Система «actiCHamp-64», с использованием пакета Brain Products PyCorder. Для выявления взаимосвязей электродермальной активности с показателями спектральной мощности ЭЭГ, а также при сопоставлении асимметрии электродермальной активности и асимметрии полушарий головного мозга использовался коэффициент ранговой корреляции r_s -Спирмена. **Результаты.** Выявлена специфика взаимосвязей электродермальной активности, регистрируемой как традиционно – с левой ладони, так и с правой ладони, а также их суммарного показателя с активацией зон головного мозга во всех диапазонах частот. Большинство взаимосвязей электродермальной активности выявлено с активацией левого полушария. Асимметрия электродермальной активности соотносится с асимметрией областей головного мозга, которые функционально связывают с электродермальной активностью.

Ключевые слова: электродермальная активность, реакция кожного потенциала с правой ладони, реакция кожного потенциала с левой ладони, электроэнцефалография, межполушарная асимметрия, показатели симметричности каналов, быстрое преобразование Фурье.

Регистрация изменений состояний субъекта как диагностическая задача ставится во многих исследованиях. Изменения могут быть оценены с помощью психофизиологических методов: электроэнцефалографии, электромиографии, анализа лицевой экспрессии, частоты сердечных сокращений, регистрации электродермальной активности, диаметра зрачка [1, 2]. Широко применяются методы регистрации электродермальной активности, что обусловлено их чувствительностью к изменениям состояния субъекта, быстротой и простотой измерения.

Электродермальная активность – термин, обозначающий электрические явления в коже, ее электрические свойства, которые можно зафиксировать экспериментально [3]. Электродермальная активность является психофизиоло-

гическим индикатором изменений в вегетативном симпатическом возбуждении [3, 4]. Существует разнообразие индексов электродермальной активности: потенциал, сопротивление, проводимость, их тонические и фазические компоненты, частота, амплитуда, латентное и общее время реакций, которые могут быть как неспецифическими, так и возникающими под воздействием внешних стимулов [3].

Индексы, отражающие изменение электродермальной активности, широко используются для исследования реакций на когнитивную нагрузку [5], различные эмоциональные стимулы [6–8], стрессогенные стимулы [9, 10], рекламные стимулы [11, 12], медиа-контент [13].

В исследованиях индивидуальных различий используются показатели неспецифической электродермальной активности. Так, вы-

явлена взаимосвязь неспецифической кожно-гальванической реакции на нейтральные стимулы и акцентуаций характера [14], взаимосвязь частоты спонтанных кожно-гальванических реакций (КГР) со свойствами темперамента [15], количества и амплитуды колебаний КГР с пограничными состояниями личности [16].

Традиционно показатели электродермальной активности снимают с поверхности неведущей руки (левой). Измерение электродермальной активности только с одной стороны тела может привести к существенным неточностям, так как существуют данные о различиях в показателях электродермальной активности при ее измерении с разных сторон тела [17]. Одновременное измерение электродермальной активности с двух сторон тела является более точным методом.

Несмотря на большое количество исследований, использующих регистрацию электродермальной активности, не выявлены до конца ее нейрофизиологические механизмы. В исследованиях, посвященных поиску областей головного мозга, связанных с электродермальной активностью, выявлено, что на симпатическую вегетативную активность влияет активация префронтальной и теменной коры, а также лимбических структур, поясной извилины, медиальной височной доли с частичной латерализацией в сторону правого полушария [4]. Также существуют данные о связи активации симпатической нервной системы с функциональной латерализацией мозга [18]. Исследование связи между асимметрией электродермальной активности и асимметрией полушарий головного мозга является актуальным направлением исследований [19].

Таким образом, актуально исследовать электродермальную активность с двух сторон тела и ее взаимосвязи с активацией областей головного мозга, а также соотношение асимметрии электродермальной активности и асимметрии полушарий головного мозга.

Цель – выявление особенностей взаимосвязей двусторонней электродермальной активности с показателями спектральной мощности ЭЭГ, а также сопоставление асимметрии электродермальной активности и асимметрии полушарий головного мозга.

Материалы и методы

Выборка исследования – 30 человек от 18 до 25 лет, обучающихся на разных специаль-

ностях вуза (18 юношей, 12 девушек), без неврологических и психиатрических расстройств в анамнезе, праворукие.

Процедура исследования. Перед регистрацией записи ЭЭГ участники были проинструктированы о необходимости сохранять состояние покоя. Каждые две минуты участников просили открыть или закрыть глаза, используя словесную инструкцию. Были использованы данные ЭЭГ с открытыми глазами.

Показатели электродермальной активности с помощью прибора «Активациометр АЦ-9К» замерялись непосредственно перед записью ЭЭГ.

Диагностика показателей электродермальной активности с ладоней рук и асимметрии электродермальной активности

Для диагностики показателей электродермальной активности с ладоней рук и асимметрии электродермальной активности на аппаратно-программном комплексе «Активациометр АЦ-9К» Ю.А. Цагарелли¹ использовался метод неспецифической эндодермальной реакции кожного потенциала по Тарханову на ладонях двух рук с использованием общепринятых показателей [3]. Диагностика осуществлялась по показателям: реакция кожного потенциала с ладони правой руки ($KП_{П}$), с ладони левой руки ($KП_{Л}$), суммарный кожный потенциал с двух рук ($\Sigma KП$), асимметрия реакции кожного потенциала ($АС_{KП}$).

Расчет асимметрии реакции кожного потенциала ($АС_{KП}$) на основе данных прибора «Активациометр АЦ-9К» осуществлялся по формуле:

$$АС_{KП} = \frac{KП_{П} - KП_{Л}}{KП_{П} + KП_{Л}}, \quad (1)$$

где $KП_{П}$ – кожный потенциал с ладони правой руки, $KП_{Л}$ – кожный потенциал с ладони левой руки.

В соответствии с методикой Ю.А. Цагарелли показатель реакции кожного потенциала с ладони правой руки ($KП_{П}$) интерпретируется как показатель активации левого полушария ($АП_{Л}$), показатель реакции кожного потенциала с ладони левой руки ($KП_{Л}$) интерпретируется как показатель активации право-

¹ Цагарелли Ю.А. Системная диагностика человека и развитие психических функций: учеб. пособие. Казань: Изд-во «Познание» Ин-та экономики, управления и права, 2009. 492 с.

го полушария (АПП), показатель суммарного кожного потенциала с двух рук ($\Sigma_{КП}$) соответствует показателю суммарной активации полушарий (АП), показатель асимметрии реакции кожного потенциала ($АС_{КП}$) соответствует показателю функциональной межполушарной асимметрии (ФАП).

Сбор и предварительная обработка данных ЭЭГ

Регистрация ЭЭГ данных производилась с помощью 64-канального электроэнцефалографа ВР-100-2110-Система «actiCHamp-64» (Brain Products, Германия), с электродами, размещенными по системе «10-10», с использованием пакета Brain Products PyCorder; запись проводилась непрерывно без какой-либо фильтрации, Референсный электрод располагался в точке Cz. Сопротивление во всех отведениях было ниже 25 кОм. Запись проводилась в звукоизолированном и электрически экранированном помещении с тусклым освещением.

Первичная обработка данных и спектральный анализ проводились с использованием программного пакета Brain Vision Analyzer (Brain Products, Германия). Частота дискретизации снижалась до 500 Гц, полученные записи фильтровались в диапазоне частот от 0,1 до 30 Гц. Данные очищались от артефактов в ручном и полуавтоматическом режимах, «шумовые каналы» удалялись из записи с последующим восстановлением с помощью метода топографической интерполяции (не более 2 каналов на одну запись). Коррекция глазодвигательной активности осуществлялась с помощью метода независимого компонентного анализа (ICA) (VEOG-Fp1, NEOG-FT9 и FT10).

Данные по 64 каналам после коррекции артефактов были разделены на следующие частотные диапазоны: дельта (0–4 Гц), тета (4–8 Гц), альфа: низкочастотный – альфа-1 (8–10 Гц), и высокочастотный – альфа-2 (10–13 Гц), бета: низкочастотный – бета-1 (13–20 Гц) и высокочастотный бета-2 (20–30 Гц), гамма: низкочастотный – гамма-1 (30–50 Гц) и высокочастотный гамма-2 (50–120 Гц). Спектральный анализ проводился с использованием метода быстрого преобразования Фурье в выделенных частотных диапазонах. Данные предварительно сегментировались на эпохи по четыре секунды.

Функциональная асимметрия полушарий оценивалась при помощи показателя симметричности каналов. Для расчета показателей

симметричности каналов использовались данные спектральной мощности 28 каналов левого полушария (нечетных), 28 каналов левого полушария (четных). Данные восьми центральных каналов исключались из анализа.

Показатель симметричности каналов (СК) рассчитывался на основе данных спектральной мощности для каждой пары контралатерально расположенных каналов (например, FC3 и FC4) по формуле

$$СК = \frac{\mu V_{ЛК} - \mu V_{ПК}}{\mu V_{ЛК} + \mu V_{ПК}}, \quad (2)$$

где $\mu V_{ЛК}$ – значение спектральной мощности канала левого полушария, $\mu V_{ПК}$ – значение спектральной мощности контралатерального канала правого полушария².

Таким образом, для анализа были использованы показатели спектральной мощности для каждого из 64 каналов, а также показатели симметричности для 28 пар каналов в каждом диапазоне мощности.

Статистический анализ. Для выявления взаимосвязей электродермальной активности с ладоней двух рук с показателями спектральной мощности данных ЭЭГ, а также сопоставления асимметрии электродермальной активности и асимметрии полушарий головного мозга использовался коэффициент ранговой корреляции r_s Спирмена. Все расчеты выполнены с помощью статистического пакета IBM SPSS Statistics v. 23.

Результаты

Взаимосвязи показателей реакции кожного потенциала ($КП_{П}$, $КП_{Л}$, $\Sigma КП$) и показателей спектральной мощности ЭЭГ

Значимые корреляционные взаимосвязи показателей реакции кожного потенциала ($КП_{П}$, $КП_{Л}$, $\Sigma КП$) с показателями спектральной мощности ЭЭГ-сигналов с отдельных каналов во всех диапазонах частот представлены в табл. 1.

Взаимосвязи показателей реакции кожного потенциала со спектральной мощностью ЭЭГ-сигналов обнаружены во всех частотных диапазонах, кроме низкочастотного гамма-диапазона.

² Development of an Interhemispheric Symmetry Measurement in the Neonatal Brain / N. Koolen, A. Dereymaeker, K. Jansen [et al.] // Proceedings of the 3rd International Conference on Pattern Recognition Applications and Methods (ICPRAM-2014). 2014. P. 765–770. DOI: 10.5220/0004922407650770

Таблица 1
Table 1

Взаимосвязи показателей реакции кожного потенциала с показателями спектральной мощности ЭЭГ
(r_s Спирмена)
The correlation between skin potential response and EEG spectrum power signals from individual channels
(Spearman's r_s)

Спектральная мощность сигнала, мкВ Spectral power, μV	Диапазон частот Frequency	Каналы Channels	Реакция кожного потенциала, мкСм Skin potential response, μS		
			КП _П /SPR _R	КП _Л /SPR _L	\sum КП / \sum SPR
	Дельта (0–4 Гц) Delta (0–4 Hz)	TP7			-0,365*
		FC3	-0,447*		-0,448**
	Тета (4–8 Гц) Theta (4–8 Hz)	FC5	-0,420*		
		TP10			-0,380*
		TP9		-0,405*	
	Альфа-1 (8–10 Гц) Alpha-1 (8–10 Hz)	FC2		-0,366*	
		FC4		-0,367*	
		C4	-0,402*	-0,442*	
		C5	-0,370*	-0,374*	
		C6		-0,367*	
		P7		-0,371*	
		PO7		-0,390*	
		T7	-0,486**	-0,495**	-0,364*
		TP7	-0,378*	-0,448*	
	Альфа-2 (10–13 Гц) Alpha-2 (10–13 Hz)	AF3	-0,363*		
		C2	-0,378*	-0,464**	
		C4	-0,370*	-0,390*	
		C5	-0,459*	-0,404*	
		CP1		-0,380*	
		CP3	-0,408*	-0,490**	
		CP5	-0,488**	-0,507**	
		F1	-0,361*	-0,381*	
		F3	-0,394*	-0,413*	
		FC4		-0,361*	
		FT7	-0,390*	-0,458*	
		FT9		-0,371*	
		P3	-0,428*	-0,411*	
		P5	-0,581**	-0,564**	
		P7	-0,636**	-0,661**	
		PO7	-0,453*	-0,487**	
		T7	-0,388*	-0,463*	
		TP7	-0,363*	-0,496**	
TP9		-0,433*	-0,511**		
Бета-1 (13–20 Гц) Beta-1 (13–20 Hz)					

	Диапазон частот Frequency	Каналы Channels	Реакция кожного потенциала, мкСм Skin potential response, μS		
			КП _П /SPR _R	КП _Л /SPR _L	\sum КП / \sum SPR
	Бета-2 (20–30 Гц) Beta-2 (20–30 Hz)	F6	-0,391*		
		FC4	-0,369*		
	Гамма-2 (50–120 Гц) Gamma-2 (50–120 Hz)	C1			0,345*

Примечание: КП_П – реакция кожного потенциала с правой ладони, КП_Л – реакция кожного потенциала с левой ладони, \sum КП – суммарный кожный потенциал с двух ладоней, * – статистическая значимость на уровне $P < 0,05$, ** – статистическая значимость на уровне $P < 0,01$.

Note: SPR_R – skin potential response from the right palm, SPR_L – skin potential response from the left palm, \sum SPR – total skin potential response, * – statistical significance at $P < 0.05$, ** – statistical significance at $P < 0.01$.

Обратный характер взаимосвязей показателей реакции кожного потенциала (КП_П, КП_Л, \sum КП) с показателями спектральной мощности ЭЭГ-сигналов обусловлен характером взаимосвязи их единиц измерения – реакция кожного потенциала измерена в микросименсах (мкСм), спектральная мощность ЭЭГ-сигналов – в микровольтах (мкВ), которые имеют обратную взаимосвязь, что позволяет утверждать наличие прямых взаимосвязей показателей.

В дельта-, тета-, низкочастотном альфа-, высокочастотных бета- и гамма-диапазонах частот выявлено небольшое количество взаимосвязей.

В дельта-диапазоне частот выявлена обратная корреляционная взаимосвязь показателя суммарного кожного потенциала с двух рук (\sum КП) с показателем спектральной мощности в затылочном отведении левого полушария TP7. В тета-диапазоне частот выявлены обратные корреляционные взаимосвязи показателя реакции кожного потенциала с правой ладони (КП_П) с показателем спектральной мощности в лобно-центральных отведениях левого полушария FC3, FC5; показателя суммарного кожного потенциала с двух рук (\sum КП) с показателем спектральной мощности в лобно-центральном отведении левого полушария FC3 и в затылочном отведении правого полушария TP10.

В низкочастотном альфа-диапазоне выявлена обратная корреляционная взаимосвязь показателя реакции кожного потенциала с левой ладони (КП_Л) с показателем спектральной мощности в затылочном отведении левого полушария TP9. В высокочастотном бета-

диапазоне выявлены обратные корреляционные взаимосвязи показателя реакции кожного потенциала с правой ладони (КП_П) с показателями спектральной мощности фронтального канала F6 и фронтально-центрального канала FC4 правого полушария. В высокочастотном гамма-диапазоне выявлена прямая корреляционная взаимосвязь показателя суммарного кожного потенциала с двух рук (\sum КП) с показателем спектральной мощности центрального канала C1 левого полушария.

Наибольшее количество взаимосвязей показателей реакции кожного потенциала со спектральной мощностью ЭЭГ-сигналов обнаружено в высокочастотном альфа и низкочастотном бета диапазонах.

В высокочастотном альфа-диапазоне выявлены обратные корреляционные взаимосвязи показателя реакции кожного потенциала с левой ладони (КП_Л) с показателями спектральной мощности в лобно-центральных каналах FC2, FC4 и центральном канале C6 правого полушария, а также в теменном канале P7 и теменно-затылочном канале PO7 левого полушария; кожного потенциала с правой и левой ладоней (КП_П, КП_Л) с показателями спектральной мощности центральных каналов C4 и C5 (правое и левое полушарие) и теменно-височного канала левого полушария TP7. Также все показатели реакции кожного потенциала (КП_П, КП_Л, \sum КП) обратно взаимосвязаны с показателем спектральной мощности височного канала левого полушария T7.

В низкочастотном бета-диапазоне выявлена обратная корреляционная взаимосвязь показателя реакции кожного потенциала с левой ладони (КП_Л) с показателями спектральной

мощности в околоушно-фронтальном канале AF3; показателя реакции кожного потенциала с правой ладони (КП_П) с показателями спектральной мощности фронтально-центрального канала FC4 правого полушария и центрально-теменного канала CP1, фронтально-височного канала FT9 левого полушария.

Также выявлены обратные корреляционные взаимосвязи показателей кожного потенциала с правой и левой ладоней (КП_П, КП_Л) с показателями спектральной мощности центральных каналов C2, C4 правого полушария, а также фронтальных каналов F1, F3, фронтально-теменного канала FT7, центрального канала C5, центрально-теменных каналов CP3, CP5, височного канала T7 и височно-теменных каналов TP7, TP9, теменных каналов P3, P5, P7 и теменно-затылочного канала PO7 левого полушария.

Таким образом, выявлена специфика взаимосвязей отдельных показателей кожного потенциала (КП_П, КП_Л, $\Sigma_{КП}$) со спектральной мощностью ЭЭГ в разных диапазонах частот.

Показатель суммарного кожного потенциала с двух рук связан в дельта-диапазоне с активностью в теменно-затылочной области левого полушария; в тета-диапазоне – с активностью во фронтально-центральной области левого полушария и теменно-затылочной области правого полушария; в высокочастотном альфа-диапазоне – с активностью в теменной области левого полушария; в высокочастотном гамма-диапазоне – с активностью в центральной области левого полушария.

Показатель кожного потенциала с правой руки связан ипсилатерально – в высокочастотном бета-диапазоне с активностью фронтальной и фронтально-центральной областей правого полушария; контралатерально – в тета-диапазоне с активностью фронтально-центральной области левого полушария. Показатель кожного потенциала с левой руки связан ипсилатерально – в альфа-диапазонах с активностью теменно-затылочной области левого полушария; контралатерально – в высокочастотном альфа-диапазоне с активностью фронтальной и фронтально-центральной областей правого полушария.

Показатели кожного потенциала отдельно с правой и левой рук симметрично связаны в высокочастотном альфа-диапазоне с активностью в центральных областях правого и левого полушарий, в теменной и теменно-затылочной области левого полушария; в вы-

сокочастотном бета-диапазоне – с активностью в центральных областях правого и левого полушарий, фронтальной, фронтально-височной, теменной, теменно-височной области левого полушария.

Сопоставление показателя асимметрии реакции кожного потенциала ($AC_{КП}$) с показателями симметричности каналов ЭЭГ

Корреляционные взаимосвязи показателя асимметрии реакции кожного потенциала ($AC_{КП}$) с показателями симметричности каналов ЭЭГ представлены в табл. 2.

Взаимосвязи показателя асимметрии реакции кожного потенциала показателями симметричности каналов ЭЭГ обнаружены в дельта-, тета-, а также высокочастотных альфа-, бета- и гамма-диапазонах. В низкочастотных альфа-, бета- и гамма-диапазонах взаимосвязи не выявлены. Преобладают прямые взаимосвязи реакции кожного потенциала показателями симметричности каналов ЭЭГ.

В дельта-диапазоне выявлены прямые корреляционные взаимосвязи асимметрии реакции кожного потенциала ($AC_{КП}$) с показателями симметричности фронтально-центральных каналов FC3-FC4 и FC5-FC6.

В тета-диапазоне выявлены обратные корреляционные взаимосвязи асимметрии реакции кожного потенциала ($AC_{КП}$) с показателями симметричности фронтальных F7-F8 и центральных C1-C2 каналов.

В высокочастотном альфа-диапазоне выявлены прямые корреляционные взаимосвязи показателя асимметрии реакции кожного потенциала ($AC_{КП}$) с показателями симметричности фронтальных (FC3-FC4), центральных (C1-C2, C3-C4) и центрально-теменных (CP1-CP2) каналов, а также обратные корреляционные взаимосвязи с показателями симметричности височных и височно-теменных (T7-T8, TP7-TP8) каналов.

В высокочастотных бета- и гамма-диапазонах выявлены прямые корреляционные взаимосвязи асимметрии реакции кожного потенциала ($AC_{КП}$) с показателем симметричности теменных каналов P1-P2.

Таким образом, выявлена специфика соотношения асимметрии реакции кожного потенциала с симметрией каналов ЭЭГ в разных диапазонах частот. Прямые соотношения показателя асимметрии реакции кожного потенциала выявлены *в дельта-диапазоне* с асимметрией фронтально-центральных областей *в высокочастотном альфа-диапазоне* с асим-

Взаимосвязи показателя асимметрии реакции кожного потенциала (АС_{кп}) с показателями симметричности каналов ЭЭГ (r_s Спирмена)
The relationships between Skin potential response asymmetry indicators with the channel symmetry indicators of EEG signals (Spearman's r_s)

Показатели симметричности каналов Channel symmetry	Диапазон частот Frequency	Пары каналов Channels pairs	Асимметрия реакции кожного потенциала Skin potential response asymmetry
	Дельта (0–4 Гц) Delta (0–4 Hz)	FC3–FC4	0,457*
		FC5–FC6	0,505**
	Тета (4–8 Гц) Tetha (4–8 Hz)	F7–F8	–0,398*
		C1–C2	–0,454*
	Альфа-2 (10–13 Гц) Alpha-2 (10–13 Hz)	FC3–FC4	0,361*
		C1–C2	0,428*
		C3–C4	0,528**
		CP1–CP2	0,482**
		T7–T8	–0,445*
TP7–TP8		–0,423*	
Бета-2 (20–30 Гц) Beta-2 (13–20 Hz)	P1–P2	0,462*	
Гамма-2 (50–120 Гц) Gamma-2 (50–120 Hz)	P1–P2	0,397*	

Примечание: * – статистическая значимость на уровне P < 0,05, ** – статистическая значимость на уровне P < 0,01.

Note: * – statistical significance at P < 0.05, ** – statistical significance at P < 0.01.

метрий фронтально-центральных, центральных, центрально-теменных областей; в высокочастотных бета- и гамма-диапазонах с асимметрией теменных областей. Обратные соотношения показателя асимметрии реакции кожного потенциала выявлены в тета-диапазоне с асимметрией фронтальных и центральных областей, в высокочастотном альфа-диапазоне с асимметрией височных и височно-теменных областей.

Обсуждение

Выявлены взаимосвязи показателей реакции кожного потенциала с показателями спектральной мощности ЭЭГ-сигналов с отдельных каналов во всех диапазонах частот. Наибольшее количество взаимосвязей выявлено в диапазоне частот от 10 до 20 Гц (высокочастотный альфа- и низкочастотный бета-диапазоны), что связано с тем, что субъекты находились в спокойном состоянии. Это согласуется с данными о взаимосвязи колебаний нейронных ансамблей в альфа-диапазоне в состоянии спокойного бодрствования с процессами «расфокусировки внимания» и общим состоянием расторможенности и бетаритмике колебаний как сигналов о спонтан-

ных когнитивных операциях во время сознательного отдыха [20–22].

Выявлены взаимосвязи электродермальной активности с активацией зон головного мозга. Обнаружены как взаимосвязи с традиционным показателем электродермальной активности с левой ладони, так и с показателем электродермальной активности с правой ладони и суммарным показателем с двух рук. Взаимосвязи каждого показателя имеют свою специфику в каждом диапазоне частот.

Наряду со спецификой взаимосвязей выявлена частичная симметрия взаимосвязей электродермальной активности с левой и правой рук с активацией зон головного мозга. Это согласуется с данными о существовании множественных механизмов активации областей головного мозга, вызывающих электродермальную активность на ипсилатеральной и контралатеральной сторонах тела, а также областях коры, вызывающих симметричную электродермальную реакцию [17]. Выявлено, что электродермальная активность связана с активацией фронтальных, центральных, теменных, теменно-височных и теменно-затылочных областей головного мозга, что согласуется с исследованиями, посвященными

ми поиску областей головного мозга, связанных с электродермальной активностью [4]. Уточнены области мозга, имеющие специфические и симметричные взаимосвязи с показателями электродермальной активности в разных диапазонах частот.

Большинство взаимосвязей электродермальной активности выявлено с активацией левого полушария. Это противоречит данным о частичной латерализации взаимосвязей электродермальной активности с активностью головного мозга в сторону правого полушария [4], что может быть связано с использованием в указанных исследованиях замеров электродермальной активности только с левой стороны тела. Использование показателей электродермальной активности с двух сторон тела позволяет выявить более полную картину.

Выявлено соотношение асимметрии электродермальной активности с функциональной асимметрией полушарий головного мозга в состоянии покоя. Асимметрия электродермальной активности соотносится с асимметрией тех областей головного мозга, которые, по данным исследований, вызывают электродермальную активность. Существует специфика этого соотношения в зависимости от диапазона частоты ЭЭГ.

Заключение

Показатели электродермальной активности, регистрируемые с двух сторон тела, отражают активацию отдельных зон головного мозга в целом, а не только активацию контралатерального полушария, в связи с чем наряду с показателями электродермальной активности с двух рук правомерно использовать также показатель суммарной электродермальной активности с двух сторон тела.

Информативным является показатель асимметрии электродермальной активности, так как он отражает функциональную асимметрию полушарий головного мозга.

В дальнейшем предполагается соотнести показатели электродермальной активности со спектральной мощностью и симметричностью каналов ЭЭГ под воздействием информационных стрессоров в исследованиях стрессоустойчивости личности.

Конфликт интересов

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Литература

1. *Psychophysiological methods for the diagnostics of human functional states: new approaches and perspectives* / A.M. Chernorizov, S.A. Isaychev, Y.P. Zinchenko [et al.] // *Psychology in Russia: State of the Art*. 2016. Vol. 9 (4). P. 23–36. DOI: 10.11621/pir.2016.0403
2. *The psychophysiology of emotion* / J.T. Cacioppo, G.G. Berntson, J.T. Larsen [et al.] // *Handbook of emotions*. Guilford Press, 2000. P. 173–191.
3. Boucsein W. *Electrodermal activity*. Springer Science & Business Media, 2012. DOI: 10.1007/978-1-4614-1126-0
4. Critchley H.D. *Electrodermal responses: what happens in the brain* // *The Neuroscientist*. 2002. Vol. 8 (2). P. 132–142. DOI: 10.1177/107385840200800209
5. *Cerebral correlates of skin conductance responses in a cognitive task* / S. Zhang, S. Hu, H.H. Chao [et al.] // *Neuroimage*. 2012. Vol. 62 (3). P. 1489–1498. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2012.05.036
6. *Arousal effects on pupil size, heart rate, and skin conductance in an emotional face task* / C.A. Wang, T. Baird, J. Huang [et al.] // *Frontiers in neurology*. 2018. Vol. 9. P. 1029. DOI: 10.3389/fneur.2018.01029
7. *Discrimination between different emotional states based on the chaotic behavior of galvanic skin responses* / A. Goshvarpour, A. Abbasi, A. Goshvarpour [et al.] // *Signal, Image and Video Processing*. 2017. Vol. 11 (7). – P. 1347–1355. DOI: 10.1007/S11760-017-1092-9
8. *Зависимость кожно-гальванической реакции от эмоционального состояния у юношей и девушек* / Н.А. Костычев, Е.Ю. Баторова, А.В. Макушкин, А.В. Перепелов // *Тенденции развития науки и образования*. 2019. № 51 (6). С. 34–36. DOI: 10.18411/lj-06-2019-130.
9. Bari D.S. *Psychological correlates of nonspecific electrodermal responses* // *Journal of Electrical Bioimpedance*. 2019. Vol. 10 (1). P. 65–72. DOI: 10.2478/joeb-2019-0010
10. Liu Y., Du S. *Psychological stress level detection based on electrodermal activity* // *Behavioural brain research*. 2018. Vol. 341. P. 50–53. DOI: 10.1016/j.bbr.2017.12.021
11. *The use of electrodermal activity (EDA) measurement to understand consumer emotions – a literature review and a call for action* / D. Caruelle, A. Gustafsson, P. Shams [et al.] // *Journal of Business Research*. 2019. Vol. 104. – P. 146–160. DOI: 10.1016/j.jbusres.2019.06.041

12. *Beyond self-report: A review of physiological and neuroscientific methods to investigate consumer behavior* / L. Bell, J. Vogt, C. Willemse [et al.] // *Frontiers in psychology*. 2018. Vol. 9. P. 1655. DOI: 10.3389/fpsyg.2018.01655
13. *Electrodermal activity as a measure of emotions in media accessibility research: methodological considerations* / A. Matamala, O. Soler-Vilageliu, G. Iturregui-Gallardo [et al.] // *Journal of Specialised Translation*. 2020. Vol. 33. P. 1–23. https://www.jostrans.org/issue33/art_matamala.php
14. Попов С.А., Щербакова Е.Е., Родина Н.А. Физиологические корреляты психотипов // *Вестник психофизиологии*. 2017. № 2. С. 37–43. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29842605>
15. Унакафов А.М., Непышина Т.Г. Исследование связи темперамента человека с частотой спонтанных кожно-гальванических реакций // *Известия ЮФУ. Технические науки*. 2009. № 9 (98). С. 181–186.
16. Аракелов Г.Г., Глебов В.В. Вегетативные составляющие стресса и личностные особенности пациентов, страдающих пограничными расстройствами // *Психологический журнал*. 2005. Т. 26, № 5. С. 35–47. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9132869>
17. Picard R.W., Fedor S., Ayzenberg Y. *Multiple arousal theory and daily-life electrodermal activity asymmetry* // *Emotion Review*. 2016. Vol. 8(1). P. 62–75. DOI: 10.1177/1754073914565517
18. Critchley H.D., Nagai Y. *Comment: What does left–right autonomic asymmetry signify?* // *Emotion Review*. 2016. Vol. 8(1). P. 76–77. DOI: 10.1177/1754073914565520
19. Mendes W.B. *Comment: looking for affective meaning in “Multiple Arousal” theory: a comment to Picard, Fedor, and Ayzenberg* // *Emotion Review*. 2016. Vol. 8(1). P. 77–79. DOI: 10.1177/1754073914565521
20. Guerreiro J., Rita P., Trigueiros D. *Attention, emotions and cause-related marketing effectiveness* // *European Journal of marketing*. 2015. Vol. 49 (11/12). P. 1728–1750. DOI: 10.1108/EJM-09-2014-0543
21. *Electroencephalographic signatures of attentional and cognitive default modes in spontaneous brain activity fluctuations at rest* / H. Laufs, K. Krakow, P. Sterzer [et al.] // *Proceedings of the national academy of sciences*. 2003. Vol. 100 (19). P. 11053–11058. DOI: 10.1073/pnas.1831638100
22. Долецкий А.Н., Докучаев Д.А., Лата А.А. Трансформация взглядов на механизм генерации и физиологическую интерпретацию альфа-ритма ЭЭГ // *Волгоградский научно-медицинский журнал*. 2019. № 1. С. 14–19. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42905952>

Коробова Светлана Юрьевна, научный сотрудник, лаборатория психологии и психофизиологии стрессоустойчивости и креативности, Южно-Уральский государственный университет (Россия, 454080, Челябинск, проспект Ленина, 76), k.svetlana-1991@mail.ru, ORCID 0000-0002-8633-7231

Грязева-Добшинская Вера Геннадьевна, доктор психологических наук, профессор, заведующий лабораторией психологии и психофизиологии стрессоустойчивости и креативности, Южно-Уральский государственный университет (Россия, 454080, Челябинск, проспект Ленина, 76), vdobshinya@mail.ru, ORCID 0000-0002-9986-4073

Чипеева Надежда Александровна, научный сотрудник, лаборатория психологии и психофизиологии стрессоустойчивости и креативности, Южно-Уральский государственный университет (Россия, 454080, Челябинск, проспект Ленина, 76), n.chipeeva@gmail.com, ORCID 0000-0003-0845-3138

Поступила в редакцию 12 мая 2021 г.; принята 27 июля 2021 г.

FEATURES OF THE CORRELATION BETWEEN TWO-SIDED ELECTRODERMAL ACTIVITY AND EEG SPECTRUM POWER

S. Yu. Korobova, k.svetlana-1991@mail.ru, ORCID 0000-0002-8633-7231

V.G. Gryazeva-Dobshinskaya, vdobshinya@mail.ru, ORCID 0000-0002-9986-4073

N.A. Chipeeva, n.chipeeva@gmail.com, ORCID 0000-0003-0845-3138

South Ural State University (76 Lenin Avenue, Chelyabinsk, 454080, Russian Federation)

Abstract. The paper considers the correlation between two-sided electrodermal activity and brain activation, as well as the correlation between the asymmetry of electrodermal activity and the asymmetry of the cerebral hemispheres. **Aim.** The paper aims to identify the correlation between electrodermal activity and EEG spectrum power so to compare the asymmetry of electrodermal activity and the asymmetry of the cerebral hemispheres. **Materials and methods.** The sample consisted of 30 people aged from 18 to 25 years (18 males and 12 females). Electrodermal activity was assessed by the method of nonspecific endodermal response (by Tarkhanov) with the help of the Aktivatsiometr AC-9K system proposed by Yu.A. Tsagarelli. EEG recording was performed using a 64-channel electroencephalograph (actiCHamp-64) and the Brain Products PyCorder package. **Results.** The features of the correlation between electrodermal activity and brain activation were found in all frequency bands. Most of the correlations were associated with the left hemisphere. The asymmetry of electrodermal activity correlates with the asymmetry of brain areas associated with electrodermal activity.

Keywords: electrodermal activity, skin potential response, electroencephalography, interhemispheric asymmetry, channel symmetry index, fast Fourier transform.

Conflict of interest. The authors declares no conflict of interest.

References

1. Chernorizov A.M., Isaychev S.A., Zinchenko Y.P. et al. Psychophysiological methods for the diagnostics of human functional states: new approaches and perspectives. *Psychology in Russia: State of the Art*. 2016; 9(4): 26–36. DOI: 10.11621/pir.2016.0403.
2. Cacioppo J.T., Berntson G.G., Larsen, J.T. et al. The psychophysiology of emotion. Handbook of emotions. Guilford Press. 2000: 173–191.
3. Boucsein W. Electrodermal activity, Springer Science & Business Media. 2012. DOI 10.1007/978-1-4614-1126-0
4. Critchley H.D. Electrodermal responses: what happens in the brain. *The Neuroscientist*. 2002; 8 (2): 132–142.
5. Zhang S., Hu S., Chao H.H. et al. Cerebral correlates of skin conductance responses in a cognitive task. *Neuroimage*. 2012; 62 (3): 1489–1498.
6. Wang C.A., Baird T., Huang J. et al. Arousal effects on pupil size, heart rate, and skin conductance in an emotional face task. *Frontiers in neurology*. 2018; 9: 1029. DOI: 10.3389/fneur.2018.01029
7. Goshvarpour A., Abbasi A., Goshvarpour A. et al. Discrimination between different emotional states based on the chaotic behavior of galvanic skin responses. *Signal, Image and Video Processing*. 2017; 11 (7): 1347–1355. DOI: 10.1007/S11760-017-1092-9
8. Kostychev N.A. Batorova E.Yu., Makushkin A.V., Perepelov A.V. Dependence of the galvanic skin response on the emotional state in boys and girls. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya = Trends in the development of science and education*. 2019; 51 (6): 34–36. (in Russ.). DOI: 10.18411/lj-06-2019-130.
9. Bari D.S. Psychological correlates of nonspecific electrodermal responses. *Journal of Electrical Bioimpedance*. 2019; 10 (1): 65–72. DOI: 10.2478/joeb-2019-0010
10. Liu Y, Du S. Psychological stress level detection based on electrodermal activity. *Behavioural brain research*. 2018; 341: 50–53. DOI: 10.1016/j.bbr.2017.12.021

11. Caruelle D., Gustafsson A., Shams P. et al. The use of electrodermal activity (EDA) measurement to understand consumer emotions – a literature review and a call for action. *Journal of Business Research*. 2019; 104: 146–160. DOI: 10.1016/j.jbusres.2019.06.041
12. Bell L., Vogt J., Willemse C. et al. Beyond self-report: A review of physiological and neuroscientific methods to investigate consumer behavior. *Frontiers in psychology*. 2018; 9: 1655. DOI: 10.3389/fpsyg.2018.01655
13. Matamala A., Soler-Vilageliu O., Iturregui-Gallardo G. et al. Electrodermal activity as a measure of emotions in media accessibility research: methodological considerations. *Journal of Specialised Translation*. 2020; 33: 1–23. https://www.jostrans.org/issue33/art_matamala.php
14. Popov S.A., Shcherbakova E.E., Rodina N.A. Physiological correlates of psychotypes. *Vestnik psikhofiziologii = News psychophysiology*. 2017; 2: 37–43. (in Russ.). <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29842605>
15. Unakafov A.M., Nepyshnaya T.G. Investigation of the relationship between human temperament and the frequency of spontaneous galvanic skin reactions. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki = Izvestia SFedU. Technical science*. 2009; 9: 181–186. (in Russ.). <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12956899>
16. Arakelov G.G., Glebov V.V. Vegetative components of stress and peculiarities patients individual with boundary state disorders. *Psikhologicheskii zhurnal = Psychological journal*. 2005; 26 (5): 35–47. (in Russ.). <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9132869>
17. Picard, R.W. Fedor S., Ayzenberg Y. Multiple arousal theory and daily-life electrodermal activity asymmetry. *Emotion Review*. 2016; 8 (1): 62–75. DOI: 10.1177/1754073914565517
18. Critchley H.D., Nagai Y. Comment: What does left–right autonomic asymmetry signify? *Emotion Review*. 2016; 8 (1): 76–77. DOI: 10.1177/1754073914565520
19. Mendes W.B. Comment: looking for affective meaning in “Multiple Arousal” theory: a comment to Picard, Fedor, and Ayzenberg. *Emotion Review*. 2016; 8 (1): 77–79. DOI: 10.1177/1754073914565521
20. Guerreiro J., Rita P., Trigueiros D. Attention, emotions and cause-related marketing effectiveness. *European Journal of marketing*. 2015; 49 (11/12): 1728–1750. DOI: 10.1108/EJM-09-2014-0543
21. Laufs, H., Krakow K., Sterzer P. et al. Electroencephalographic signatures of attentional and cognitive default modes in spontaneous brain activity fluctuations at rest. *Proceedings of the national academy of sciences*. 2003; 100 (19): 11053–11058. DOI: 10.1073/pnas.1831638100
22. Doletskii A.N., Dokuchaev D.A., Lata A.A. Opinion transformation in mechanism of generation and physiological interpretation of the EEG alpha rhythm. *Volgogradskii nauchno-meditsinskii zhurnal = Volgograd Medical Scientific Journal*. 2019; 1: 14–19. (in Russ.). <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42905952>

Received 12 May 2021; accepted 27 July 2021

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Коробова, С.Ю. Особенности взаимосвязи двусторонней электродермальной активности с показателями спектральной мощности ЭЭГ / С.Ю. Коробова, В.Г. Грязева-Добшинская, Н.А. Чипеева // Психология. Психофизиология. – 2021. – Т. 14, № 3. – С. 108–118. DOI: 10.14529/jpps210311

FOR CITATION

Korobova S.Yu., Gryazeva-Dobshinskaya V.G., Chipeeva N.A. Features of the Correlation Between Two-Sided Electrodermal Activity and EEG Spectrum Power. *Psychology. Psychophysiology*. 2021, vol. 14, no. 3, pp. 108–118. (in Russ.). DOI: 10.14529/jpps210311